

## **BAB 2 LANDASAN TEORI**

### **2.1 Banjir**

#### **2.1.1 Definisi Banjir**

Banjir adalah salah satu bencana alam dimana suatu tempat di daratan terendam oleh air dengan volume tinggi yang berlebihan. Hal ini bisa terjadi disebabkan oleh berbagai faktor alam seperti curah hujan yang tinggi, topografi, saluran drainase, minimnya resapan air yang mengalir pada suatu sungai atau saluran drainase melebihi atau diatas kapasitas pengalirannya bahkan faktor manusia dan sosial juga termasuk penyebabnya. Apabila banjir ini sering terjadi dalam durasi yang singkat ataupun lama, tentu saja akan mengganggu kegiatan manusia yang menyebabkan kerugian yang semakin lama dibiarkan terjadi semakin besar pula kerugian yang dialami.

#### **2.1.2 Jenis-Jenis Banjir**

Kategori atau jenis banjir terbagi berdasarkan lokasi sumber aliran permukaan dan berdasarkan mekanisme terjadinya banjir.

1. Berdasarkan lokasi sumber aliran permukaannya :
  - a. Banjir Kiriman (banjir bandang), Banjir yang diakibatkan oleh tingginya curah hujan didaerah hulu sungai. Banjir yang terjadi di daerah yang permukaannya rendah dan disebabkan oleh tinnginya intensitas hujan yang tinggi. Bencana ini terjadi karena keadaan air pada daerah yang terkena banjir sudah tidak dapat diserap oleh lapisan tanah. Bencana ini juga tergolong bencana besar yang dapat meningkatkan kerugian pada suatu daerah.
  - b. Banjir lokal, banjir yang terjadi karena volume hujan setempat yang melebihi kapasitas pembuangan disuatu wilayah. Penyebab terjadinya banjir lokal yaitu tingginya intensitas hujan dan belum adanya saluran drainase yang baik sesuai dengan sebaran luas hujan lokal. Atau bisa juga didefinisikan secara singkat yaitu banjir yang terjadi karena volume hujan tidak dapat di tampung suatu wilayah.

2. Berdasarkan mekanisme banjir terdiri atas 2 jenis yaitu :
  - a. *Regular Flood*, Banjir yang diakibatkan oleh hujan.
  - b. *Irregular Flood*, Banjir yang diakibatkan oleh selain hujan, seperti tsunami, gelombang pasang, dan hancurnya bendungan

### **2.1.3 Faktor Terjadinya Banjir**

Menurut (Rahmanizah et al., 2023) terdapat faktor-faktor yang dapat menyebabkan banjir, diantaranya:

1. Curah hujan tinggi yang menyebabkan debit air Sungai lebih besar dari biasanya bahkan bisa melebihi kapasitas Sungai.
2. Pengaruh fisiografi/geofisik Sungai seperti bentuk Sungai, fungsi daerah kemiringan Sungai, geometri hidrolis (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang, material dasar Sungai), lokasi Sungai dan hal-hal yang mempengaruhi terjadinya banjir.
3. Topografi dapat mengalirkan air dari daerah yang tinggi ke daerah yang lebih rendah. Daerah-daerah dataran rendah atau cekungan, merupakan salah satu karakteristik wilayah banjir atau genangan.
4. Permukaan tanah lebih rendah dibandingkan permukaan air laut karena diakibatkan konsolidasi tanah, beban bangunan terlalu berat, pengambilan air tanah yang berlebihan dan pengerukan di sekitar Pantai.
5. Banyak pemukiman yang dibangun pada dataran sepanjang Sungai yang seharusnya dataran banjir dibebaskan dari Pembangunan.
6. Aliran Sungai tidak lancar akibat banyaknya sampah serta bangunan di pinggir Sungai sehingga air menghambat aliran air dan memperdangkal permukaan Sungai.
7. Kurangnya tutupan lahan di daerah hulu Sungai dan di daerah aliran Sungai (DAS), karena banyaknya alih fungsi lahan sehingga kurangnya vegetasi menyebabkan terjadi erosi yang berlebihan dan terjadinya sedimentasi yang berlebihan sehingga mengurangi kapasitas Sungai.
8. Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat, sistem pengendalian yang tidak tepat bahkan dapat menambah kerusakan saat banjir.

9. Kerusakan bendungan dan bangunan pengendali banjir, penelitian yang kurang memadai menimbulkan kerusakan dan akhirnya tidak berfungsi dapat meningkatkan banjir lebih besar.

#### **2.1.4 Parameter Terjadinya Potensi Banjir**

Banjir disebabkan oleh dua kategori yaitu banjir akibat alami dan banjir akibat aktivitas manusia. Banjir akibat alami dipengaruhi oleh curah hujan, fisiografi, erosi dan sedimentasi, kapasitas sungai, kapasitas drainase, dan pengaruh air pasang. Sedangkan banjir akibat aktivitas manusia disebabkan karena tindakan manusia yang menyebabkan perubahan-perubahan lingkungan seperti perubahan kondisi DAS, kawasan pemukiman di sekitar bantaran, rusaknya drainase lahan, kerusakan bangunan pengendali banjir, rusaknya hutan (vegetasi alami), dan perencanaan sistem pengendali yang tidak tepat.

##### **2.1.4.1 Elevasi**

Ketinggian (elevasi) lahan adalah ukuran ketinggian lokasi di atas permukaan laut. Ketinggian mempunyai pengaruh terhadap terjadinya banjir. Semakin rendah suatu daerah maka semakin berpotensi terjadi banjir, begitu pula sebaliknya. Semakin tinggi suatu daerah, maka semakin aman akan bencana banjir (Imanuel Sitepu, Yudo Prasetyo, 2017).

##### **2.1.4.2 Kemiringan Lereng**

Kelerengan atau kemiringan lahan merupakan perbandingan persentase antara jarak vertikal (tinggi lahan) dengan jarak horizontal (panjang lahan datar). Semakin landai kemiringan lerengnya maka semakin berpotensi terjadi banjir, begitu pula sebaliknya. Semakin curam kemiringannya, maka semakin aman akan bencana banjir (Imanuel Sitepu, Yudo Prasetyo, 2017).

Kelerengan mempengaruhi jumlah dan kecepatan limpasan permukaan, drainase permukaan, penggunaan lahan dan erosi. Aliran limpasan permukaan akan menjadi lambat dan memungkinkan terjadi genangan atau banjir jika kelerengan semakin landai. Sedangkan semakin curam kelerengan akan menyebabkan aliran limpasan permukaan menjadi cepat sehingga air hujan yang jatuh akan langsung dialirkan dan tidak terjadi penggenangan, sehingga resiko banjir menjadi kecil (Kuswadi & Zulkarnain, 2014).

### 2.1.4.3 Topographic Wetness Index (TWI)

Topographic Wetness Index (TWI) atau kelembaban tanah merupakan salah satu parameter yang berpengaruh terhadap potensi bencana banjir. TWI digunakan sebagai indikator pengaruh topografi terhadap limpasan, arah dan akumulasi aliran. Nilai TWI menggambarkan tingkat kebasahan lahan. Tingkat kebasahan tinggi diakibatkan oleh adanya tanah yang jenuh akibat akumulasi aliran sehingga daerah dengan nilai TWI tinggi maka diasumsikan rawan terhadap banjir. menyatakan bahwa TWI dapat digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang terdampak akibat adanya banjir dan genangan yang disebabkan oleh hujan. Data TWI dapat menginformasikan potensi banjir sehingga dapat digunakan untuk membangun kesadaran tanggap bencana sebagai upaya pengurangan risiko bencana.

$$TWI = \ln (A_s / \tan\alpha\beta) \quad 2.1$$

Dimana:

TWI = Kelembaban tanah

$A_s$  = Akumulasi aliran

$\beta$  = Kemiringan lereng

### 2.1.4.4 Standardized Precipitation Index (SPI)

*Standardized Precipitation Index* (SPI) adalah indeks kekeringan yang hanya mempertimbangkan presipitasi. SPI merupakan index probabilitas dari data curah hujan dimana index negatif menunjukkan kondisi kering sedang indeks positif untuk kondisi basah. SPI dapat digunakan untuk memonitor kondisi dalam berbagai skala waktu. Fleksibilitas dalam skala waktu ini membuat SPI dapat digunakan untuk aplikasi jangka pendek untuk pertanian maupun jangka panjang untuk hidrologi. (BMKG, 2017)

Kekeringan ditandai dengan jumlah curah hujan yang dibawah angka normalnya pada satu musim. Tahap selanjutnya dapat menyebabkan penurunan kandungan air tanah yang mengakibatkan stress pada tanaman (disebut kekeringan pertanian), tahapan selanjutnya adalah semakin berkurangnya pasokan air permukaan dan air tanah yang ditandai menurunnya tinggi muka air sungai ataupun danau (disebut kekeringan hidrologis). Kekeringan dibagi menjadi 3 jenis yaitu:

1. Kekeringan meteorologi (*meteorology drought*), diartikan sebagai kekurangan curah hujan dari yang besaran normalnya atau besaran yang diharapkan selama

periode waktu tertentu. Tingkat kekeringan meteorologis dapat menggambarkan adanya indikasi pertama terjadinya kekeringan.

2. Kekeringan pertanian (*agricultural drought*), kekeringan pertanian terjadi setelah kekeringan meteorologis. Kekeringan pertanian ditandai oleh penurunan kandungan air dalam tanah (lengas tanah) sehingga tidak mampu lagi memenuhi kebutuhan air bagi tanaman pada suatu periode tertentu.
3. Kekeringan hidrologi (*hydrological drought*), kekeringan hidrologi ditandai dengan adanya kekurangan pasokan air permukaan dan air tanah. Kekeringan hidrologis dapat dengan mudah diketahui dengan mengukur ketinggian muka air sungai, waduk, danau dan air tanah

#### 2.1.4.5 Drainage Density (DD)

*Drainage Density* (DD) atau kerapatan aliran adalah panjang aliran sungai per kilometer persegi luas DAS. Semakin besar nilai Dd semakin baik sistem pengaliran (drainase) di daerah tersebut. Artinya, semakin besar jumlah air larian total semakin kecil infiltrasi dan semakin kecil air tanah yang tersimpan di daerah tersebut (Imanuel Sitepu, Yudo Prasetyo, 2017)

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad 2.2$$

Dimana:

Dd = Kerapatan drainase (km)

L = Panjang aliran Sungai (km)

A = Luas DAS (km<sup>2</sup>)

#### 2.1.4.6 Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW)

Penggunaan lahan akan mempengaruhi kerawanan banjir suatu daerah, penggunaan lahan akan berperan pada besarnya air limpasan hasil dari hujan yang telah melebihi laju infiltrasi. Lahan yang banyak ditanami oleh vegetasi maka air hujan akan banyak diinfiltrasi dan lebih banyak waktu yang ditempuh oleh limpasan untuk sampai ke sungai sehingga kemungkinan banjir lebih kecil daripada daerah yang tidak ditanami oleh vegetasi (Imanuel Sitepu, Yudo Prasetyo, 2017).

Tabel 2.1 Hubungan Kondisi Permukaan Tanah dan Koefisien Pengaliran (C)

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
1	Jalan beton dan jalan aspal	0,70 – 0,95

No	Kondisi Permukaan Tanah	Koefisien Pengaliran (C)
2	Jalan kerikil dan jalan tanah	0,40 – 0,70
3	Bahu Jalan: -Tanah berbutir halus - Tanah berbutir kasar - Batuan masif keras - Batuan massif lunak	0,40 – 0,65 0,10 – 0,20 0,70 – 0,85 0,60 – 0,75
4	Daerah perkotaan	0,70 – 0,95
5	Daerah pinggir kota	0,60 – 0,70
6	Daerah Industri	0,60 – 0,90
7	Pemukiman padat	0,40 – 0,60
8	Pemukiman tidak padat	0,20 – 0,40
9	Taman dan kebun	0,45 – 0,60
10	Persawahan	0,70 – 0,80
11	Perbukitan	0,75 – 0,90

#### 2.1.4.7 Curah Hujan

Curah hujan yaitu jumlah air hujan yang turun pada suatu daerah dalam waktu tertentu. Curah hujan yang diperlukan untuk perancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik yang tertentu biasa disebut curah hujan wilayah/daerah. Semakin tinggi curah hujannya maka semakin berpotensi terjadi banjir, begitu pula sebaliknya. Semakin rendah curah hujannya, maka semakin aman akan bencana banjir (Imanuel Sitepu, Yudo Prasetyo, 2017).

#### 2.1.4.8 Jarak ke Sungai

Jarak ke Sungai atau buffer sungai merupakan salah satu parameter yang berpengaruh terhadap potensi bencana banjir dimana apabila semakin dekat jarak suatu wilayah dengan Sungai, maka peluang terjadinya banjir semakin tinggi. Begitupun sebaliknya apabila jarak suatu wilayah dengan Sungai jauh, maka peluang terjadinya banjir semakin kecil.

#### 2.1.4.9 Jarak ke Drainase

Jarak ke drainase adalah parameter yang berpengaruh terhadap potensi bencana banjir. Apabila semakin dekat jarak dengan drainase, maka peluang

terjadinya banjir semakin kecil. Begitupun sebaliknya apabila jarak sungai dengan jalan jauh, maka peluang terjadinya banjir akan semakin tinggi.

## **2.2 Analisis Hidrologi**

Analisis hidrologi sangat diperlukan dalam perencanaan bangunan air. Proses analisis hidrologi adalah proses pengolahan data curah hujan, data luas dan bentuk pengaliran (*catchment area*), data kemiringan lahan/beda tinggi, serta tata guna lahan yang memiliki arahan agar debit banjir rencana, curah hujan rerata, koefisien pengaliran, waktu pengaliran, dan juga intensitas hujan dapat diketahui. Sehingga dengan adanya analisis hidrologi proses evaluasi saluran drainase (eksisting) dapat dilakukan (Kusnan, 2013).

### **2.2.1 Hujan Kawasan**

Hujan menjadi salah satu komponen paling penting dalam suatu perencanaan debit untuk menentukan dimensi saluran drainase. Hujan bervariasi terhadap tempatnya, apabila terdapat suatu kawasan yang memiliki cakupan yang sangat luas maka tidak bisa hanya diwakili oleh satu titik pos pengukuran dan diperlukan titik pos lainnya. Hujan kawasan didapat dari rekaman data rerata curah hujan pos pengukuran hujan di kawasan hujan (Suripin, 2004).

#### **2.2.1.1 Metode Isohyet**

Isohyet merupakan garis penghubung antara titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode ini, hujan yang terjadi di suatu daerah di antara dua garis isohyet dianggap merata dan sama dengan nilai rata-rata dari kedua garis isohyet tersebut. Penggunaan metode isohyet dilakukan apabila terdapat banyak stasiun hujan serta koordinat masing-masing stasiun hujan yang telah diketahui (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018).

Metode isohyet merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian dan pengalaman. Cara ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Metode ini terdiri dari beberapa langkah sebagai berikut:

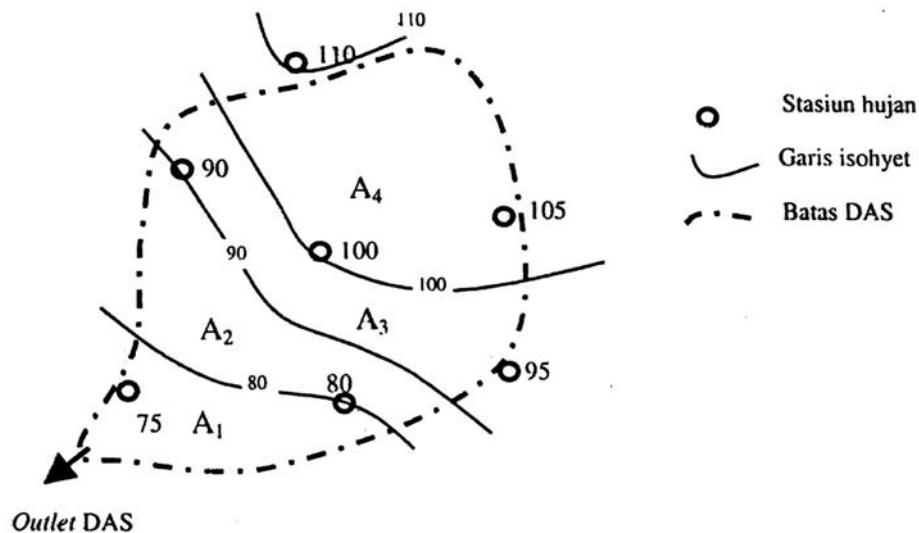
1. Plot data kedalaman air hujan untuk tiap pos penakar hujan pada peta.
2. Gambar kontur kedalaman air hujan dengan menghubungkan titik-titik yang mempunyai kedalaman air yang sama. Interval Isohyet yang umum dipakai adalah 10 mm.

3. Hitung luas area antara dua garis Isohyet dengan menggunakan planimeter. Kalikan masing-masing luas areal dengan rata-rata hujan antara 2 (dua) Isohyet yang berdekatan.
4. Hujan rata-rata DAS dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\bar{p} = \frac{A_1 \frac{P_1 + P_2}{2} + A_2 \frac{P_2 + P_3}{2} + A_3 \frac{P_3 + P_4}{2} + \dots + A_n \frac{P_{n-1} + P_n}{2}}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad 2.3$$

Dimana:

- P = Hujan rerata kawasan  
 In = Curah hujan pada masing-masing stasiun  
 An = Luas area dari titik I



Gambar 2.1 Penerapan Metode Isohyet

### 2.2.2 Analisis Distribusi Frekuensi

Analisis distribusi frekuensi data hidrologi dilakukan dengan tujuan mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi dengan penggunaan distribusi probabilitas (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018). Beberapa hal yang harus dicari dalam analisis frekuensi sebagai berikut:

1. Standar Deviasi

Standar deviasi merupakan besar perbedaan antara nilai sampel terhadap nilai rerata.



$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}{n}} \quad 2.4$$

Dimana:

$S$  = Standar deviasi

$X_i$  = Nilai varian ke-i

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata varian

$n$  = Jumlah data

## 2. Koefisien *Skewness*

Koefisien skewness atau koefisien kemencengan merupakan suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan suatu distribusi.

$$CS = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad 2.5$$

Dimana:

$CS$  = Koefisien *skewness*

$X_i$  = Nilai varian ke-i

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata varian

$n$  = Jumlah data

$S$  = Simpangan baku

## 3. Koefisien Kurtosis

$$CS = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{S^4} \quad 2.6$$

Dimana:

$CS$  = Koefisien *skewness*

$X_i$  = Nilai varian ke-i

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata varian

$n$  = Jumlah data

$S$  = Simpangan baku

### 2.2.2.1 Distribusi Normal

Perhitungan hujan periode ulang dengan metode distribusi normal dipengaruhi oleh nilai variable reduksi Gauss (Soewarno, 1995). Rumus yang digunakan untuk mencari periode ulang dengan metode distribusi normal disajikan sebagai berikut:

$$x_t = \bar{x} + K_t S \quad 2.7$$

Dimana:

$x_t$  = Curah hujan periode ulang (mm/hari)

$\bar{x}$  = Nilai hujan maksimum rata-rata (mm/hari)

$K_t$  = Faktor frekuensi (nilai variabel reduksi gauss)

$S$  = Standar deviasi.

Nilai faktor reduksi gauss yang didapat untuk mempertimbangkan nilai variabel yang disajikan pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang, T (tahun)	Peluang	$K_T$
1	1,001	0,999	-3,050
2	1,005	0,995	-2,580
3	1,010	0,990	-2,330
4	1,050	0,950	-6,640
5	1,110	0,900	-1,280
6	1,250	0,800	-0,840
7	1,330	0,750	-0,670
8	1,430	0,700	-0,520
9	1,670	0,600	-0,520
10	2,000	0,500	0,000
11	2,500	0,400	0,250
12	3,330	0,300	0,520
13	4,000	0,250	0,670
14	5,000	0,200	0,840
15	10,000	0,100	1,280
16	20,000	0,050	1,640
17	50,000	0,020	2,050
18	100,000	0,010	2,330
19	200,000	0,005	2,580
20	500,000	0,002	2,880
21	1000,000	0,001	3,090

### 2.2.2.2 Distribusi Log Normal

Metode distribusi log normal hampir sama dengan metode distribusi normal, perbedaannya terletak pada penggunaan nilai logaritma.

$$\text{Log}X_t = \overline{\text{Log}X} + K_t S \quad 2.8$$

Dimana:

$X$  = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan

$S$  = Nilai rata-rata hitung variat

$K_T$  = Faktor reduksi gauss

### 2.2.2.3 Distribusi Log Person Type III

Perhitungan hujan periode ulang dengan menggunakan metode log person III ini menggunakan nilai logaritma. Perhitungannya dipengaruhi oleh nilai k untuk distribusi log person III, seperti yang tersaji dalam Tabel 2.2 (Suripin, 2004). Dsistribusi Log Person III dapat dikonversikan menjadi bentuk logaritma sebagai berikut:

$$Y = \text{Log}X \quad 2.9$$

$$\text{Log}X_t = \text{Log}X + K_T S$$

Dimana:

$X_t$  = Hujan maksimum dimana periode ulang tahunan

$X$  = Curah hujan rata-rata dengan log x

$S$  = Deviasi standar nilai varian

$K_T$  = Frekuensi factor

Nilai frekuensi faktor untuk metode Log Person Type III disajikan pada tabel berikut (Suripin, 2004).

Tabel 2.3 Nilai K untuk Distribusi Log Person Type III

No	Koef G	Interval Kejadian ( <i>Recurrence Interval</i> ), Tahun (pu)					
		2	5	10	25	50	100
		Persentase peluang Terlampaui					
		50	20	10	4	2	1
1	3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,501
2	2,8	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973

No	Koef G	Interval Kejadian ( <i>Recurrence Interval</i> ), Tahun (pu)					
		2	5	10	25	50	100
		Persentase peluang Terlampaui					
		50	20	10	4	2	1
3	2,6	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889
4	2,4	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
5	2,2	-0,333	0,574	1,264	2,240	2,970	3,705
6	2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605
7	1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
8	1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
9	1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
10	1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
11	1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
12	0,8	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
13	0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
14	0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
15	0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,471
16	0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
17	-,02	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
18	-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
19	-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
20	-0,8	0,132	0,132	0,856	1,389	1,448	1,733
21	-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
22	-1,2	0,195	0,844	1,068	1,282	1,379	1,449
23	-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
24	-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,1297	1,197
25	-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
26	-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	1,990
27	-2,2	0,333	0,725	0,884	0,888	0,900	1,950
28	-2,4	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
29	-2,6	0,368	0,969	0,747	0,74	1,768	0,769
30	-2,8	0,384	0384	0,666	0,711	0,712	0,714
31	-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

Besarnya derajat sebaran varian di sekitar nilai rata-ratanya disebut dengan variasi *disperse*. Cara mengukur besarnya variasi atau disperse disebut dengan pengukuran variabilitas atau pengukuran disperse. Beberapa macam cara dalam pengukuran *disperse* diantaranya:

1. Rata-rata

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Xi \quad 2.10$$

2. Deviasi Standar

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^2}{n - 1}} \quad 2.11$$

3. Koefisien Variasi

$$Cv = \frac{S}{\bar{x}} \quad 2.12$$

4. Koefisien Skewness

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n (Xi - \bar{X})^3}{(n - 1)(n - 2)} \quad 2.13$$

5. Koefisien Kurtosis

$$Ck = \frac{n^2 \sum (Xi - \bar{X})^4}{(n - 1)(n - 2)(n - 3)S^4} \quad 2.14$$

#### 2.2.2.4 Distribusi Gumbell

Perhitungan hujan periode ulang dengan metode distribusi gumbel dipengaruhi oleh beberapa variabel diantaranya adalah reduced variable, reduced mean, reduced standard deviation. Hubungan antar N dan  $Y_n/S_n$ , serta hubungan periode ulang juga reduced variate.

Distribusi gumbel ini biasanya menggunakan harga ekstrim untuk digunakan analisa data maksimum. Berikut persamaanya distribusi gumbel.

$$X_t = \bar{x} + \frac{(Y_t - Y_n)}{S_n} S \quad 2.15$$

Dimana:

$X_t$  = Curah hujan periode ulang (mm/hari)

$\bar{x}$  = Nilai hujan maksimum rata-rata (mm)

$S$  = Simpangan baku

$Y_t$  = Reduced variable

$Y_n$  = Reduced mean

$S_n$  = Reduced standard deviation

Tabel 2.4 Reduced Standard Deviation ( $S_n$ )

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,949	0,937	0,988	0,997	1,009	1,020	1,103	1,041	1,049	1,036
20	1,062	1,069	1,073	1,081	1,086	1,091	1,096	1,100	1,104	1,108
30	1,112	1,113	1,119	1,122	1,125	1,128	1,131	1,133	1,136	1,138
40	1,141	1,143	1,145	1,148	1,149	1,157	1,153	1,155	1,137	1,139
50	1,160	1,162	1,163	1,163	1,166	1,168	1,169	1,170	1,172	1,173
60	1,174	1,175	1,117	1,177	1,179	1,180	1,184	1,182	1,183	1,184
70	1,185	1,186	1,186	1,187	1,189	1,190	1,196	1,191	1,192	1,193
80	1,194	1,194	1,195	1,195	1,197	1,197	1,198	1,199	1,199	1,200
90	1,201	1,201	1,202	1,202	1,203	1,204	1,204	1,205	1,205	1,206
100	1,206	1,206	1,207	1,207	1,208	1,208	1,208	1,209	1,209	1,209

Tabel 2.5 Reduced Mean ( $Y_n$ )

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,495	0,499	0,503	0,507	0,510	0,510	0,513	0,520	0,522	0,552
20	0,523	0,523	0,526	0,528	0,530	0,530	0,532	0,533	0,535	0,535
30	0,536	0,537	0,538	0,538	0,540	0,540	0,541	0,541	0,543	0,543
40	0,543	0,544	0,544	0,545	0,546	0,546	0,546	0,547	0,548	0,548
50	0,546	0,549	0,549	0,549	0,550	0,550	0,550	0,551	0,551	0,551
60	0,532	0,552	0,552	0,553	0,553	0,553	0,553	0,554	0,554	0,554
70	0,534	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,555	0,556	0,556	0,556
80	0,536	0,557	0,557	0,557	0,557	0,558	0,558	0,558	0,558	0,558
90	0,558	0,558	0,558	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559
100	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,560	0,561	0,561	0,561

Tabel 2.6 Reduced Variate ( $Y_t$ ), sebagai Fungsi Periode Ulang

No	Periode Ulang, $T_r$ (Tahun)	Reduced Variate, $Y_{Tr}$
1	2	0,3668
2	5	1,5004
3	10	2,251

No	Periode Ulang, Tr (Tahun)	Reduced Variate, Y <sub>Tr</sub>
4	20	2,9709
5	25	3,1993
6	50	3,9028
7	75	4,3117
8	100	4,6012
9	200	5,2969
10	250	5,5206
11	500	6,2149

Parameter-parameter statistic yang digunakan, sebagai berikut:

1. Rata-rata

$$\text{Log}\bar{x} = \frac{\sum_i^n = 1 \text{Log}x_i}{n} \quad 2.16$$

Dimana:

$CS$  = Koefisien *skewness*

$X_i$  = Nilai varian ke- $i$

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata varian

$n$  = Jumlah data

$S$  = Simpangan baku

2. Standar Deviasi

$$S = \left[ \frac{\sum_i^n = 1 (\text{Log}x_i - \text{Log}\bar{x})^2}{n - 1} \right] \frac{1}{2} \quad 2.17$$

Dimana:

$CS$  = Koefisien *skewness*

$X_i$  = Nilai varian ke- $i$

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata varian

$n$  = Jumlah data

$S$  = Simpangan baku

3. Koefisien Skewness (Koefisien Kepencengan) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi (Soewarno, 1995). Berikut parameter yang dapat digunakan untuk mendapatkan koefisien skewness:

$$G = C_s = \frac{\sum_i^n = n(x_1 - x)^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad 2.18$$

Syarat-syarat batas penentuan sebaran dapat dilihat pada tabel yang disajikan berikut ini (Suripin, 2004).

Tabel 2.7 Syarat-syarat Batas Penentuan Sebaran

No	Jenis Distribusi	Syarat
1	Normal	$C_s = 0$
		$C_k = 3$
2	Log-Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$
		$C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	$C_s = 1.14$
		$C_k = 5.4$
4	Log Person III	Selain nilai di atas

### 2.2.3 Uji Kecocokan

Analisa uji kecocokan dilakukan dengan tujuan untuk pengujian kecocokan distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat memberi gambaran distribusi frekuensi tersebut. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam uji kecocokan diantaranya adalah uji Chi-Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018)

#### 2.2.3.1 Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat dilakukan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis (Suripin, 2004).

$$x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} \quad 2.19$$

Dimana:

$x^2$  = Parameter Chi-Kuadrat

$n$  = Jumlah sub kelompok

$Of$  = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke f

$Ef$  = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke f



Prosedur uji kecocokan Chi-Kuadrat adalah (Suripin, 2004):

1. Urutkan data pengamatan (dari besar kekecil atau sebaliknya).
2. Kelompokkan data menjadi G sub-kelompok, tiap-tiap sub-kelompok minimal terdapat 4 data pengamatan.
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar  $O_i$  tiap-tiap sub-kelompok.
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar  $E_i$ .
5. Tiap-tiap sub-kelompok hitung nilai:  $(O_i - E_i)^2$  dan  $(O_i - E_i)^2 / E_i$ .
6. Jumlah seluruh G sub-kelompok  $(O_i - E_i)^2 / E_i$  nilai untuk menentukan nilai Chi-Kuadrat hitung.
7. Tentukan derajat kebebasan  $D_k = K - (p + 1)$ .

### 2.2.3.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov dilakukan untuk mengetahui persentase kemencengan maksimum dan kemencengan data agar sifat statistik data dapat diterima. Dari sifat statistik data itu, data yang telah dihitung kemencengannya tidak boleh melebihi kemencengan maksimum data, hal ini mengakibatkan data tidak dapat diterima sifat statistiknya. Pengujian distribusi probabilitas dengan metode Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut (Suripin, 2004):

1. Pengurutan Data, dimulai dari yang terbesar yang ke data terkecil atau sebaliknya. Dan tentukan besar peluang dari setiap data.

$$X_1 = p(X_1)$$

$$X_2 = p(X_2) \tag{2.20}$$

$$X_3 = p(X_3), \text{ dan seterusnya}$$

2. Pengurutan Nilai, masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).

$$X_1 = p(X_1)$$

$$X_2 = p(X_2) \tag{2.21}$$

$$X_3 = p(X_3), \text{ dan seterusnya}$$

3. Dari kedua peluang tersebut, tentukan selisih tersebarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum} (P(X_n) - P'(X_n)) \tag{2.22}$$

4. Berdasarkan tabel nilai kritis uji Smirnov-Kolmogorov, tentukan harga  $d_0$ .

Tabel 2.8 Nilai Kritis  $D_0$  untuk Uji Smirnov-Kolmogorov

N	Level of Significance ( $\alpha$ )				
	20	15	10	5	1
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,829
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,734
5	0,446	0,474	0,510	0,563	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,446	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,409	0,486
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	0,274	0,295	0,328	0,391
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,380
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,370
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,361
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,352

#### 2.2.4 Cara Memilih Metode

Pemilihan metode yang cocok dipakai pada suatu DTA dapat ditentukan dengan mempertimbangkan tiga faktor berikut:

1. Jaring-jaring pos penakar hujan dalam DAS
2. Luas DAS
3. Topografi DAS

Pertimbangan tiga faktor dapat dilihat pada Tabel 2.8, Tabel 2.9, dan Tabel 2.10

Tabel 2.9 Metode berdasarkan Jaring-Jaring Pos Penakar Hujan

Jumlah Pos Penakar	Metode yang digunakan
Pos Penakar Hujan Cukup	Metode Isohyet, <i>Thiessen</i> dan Aritmatika
Pos Penakar Hujan Terbatas	Metode Rata-rata Aljabar, dan <i>Thiessen</i>
Pos Penakar Hujan Tunggal	Metode Hujan Titik

Tabel 2.10 Metode berdasarkan Luas DAS

Luas DAS (km <sup>2</sup> )	Metode yang digunakan
DAS besar (>5000 km <sup>2</sup> )	Metode Isohyet
DAS sedang (500 s.d 5000 km <sup>2</sup> )	Metode <i>Polygon</i> Thiessen
DAS kecil (<500 km <sup>2</sup> )	Metode Rata-rata Aljabar

Tabel 2.11 Metode berdasarkan Topografi DAS

Jenis Topografi DAS	Metode yang digunakan
Pegunungan	Metode Rata-rata Aljabar
Dataran	Metode <i>Polygon Thiessen</i>
Bukit tidak beraturan	Metode Isohyet

### 2.2.5 Analisis Intensitas Hujan

Intensitas hujan merupakan besarnya jumlah hujan yang turun yang dinyatakan dalam tinggi curah hujan atau volume hujan per satuan waktu. Intensitas hujan memiliki besaran yang berbeda, tergantung pada lamanya curah hujan dan frekuensi terjadinya hujan.

Hubungan antara intensitas lama hujan dengan frekuensi hujan dinyatakan dalam Lengkung Intensitas – Durasi – Frekuensi (IDF=Intensity, Duration, Frequency Curve). Intensitas hujan menyatakan besaran curah hujan dalam jangka waktu yang pendek misalnya periode 5 menit, 10 menit, 30 menit, dan 60 menit. Data hujan jenis ini hanya dapat diperoleh dari stasiun hujan otomatis. Berdasarkan data hujan jangka pendek lengkung Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) dapat dibuat dengan salah satu persamaan berikut:

#### 2.2.5.1 Rumus Talbot

Rumus talbot banyak digunakan karena mudah diterapkan dimana tetapan-tetapan a dan b ditentukan dengan harga-harga yang diukur.

$$I = \frac{a}{t + b} \quad 2.23$$

Dimana:

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

t = Lama terjadinya hujan (jam)

a,b = Konstanta yang bergantung pada lama terjadinya hujan

### 2.2.5.2 Rumus Sherman

Rumus sherman cocok digunakan untuk jangka waktu curah hujan yang lamanya lebih dari 2 jam.

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (2.24)$$

Dimana:

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

t = Lama terjadinya hujan (jam)

N = Konstanta

### 2.2.5.3 Rumus Ishiguro

Rumus ini dikenalkan oleh Dr. Ishiguro pada tahun 1953.

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \quad 2.25$$

Dimana:

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

t = Lama terjadinya hujan (jam)

a,b = Konstanta yang bergantung pada lama terjadinya hujan

### 2.2.5.4 Rumus Mononobe

Rumus mononobe merupakan sebuah variasi dari rumus-rumus lainnya. Namun rumus intensitas curah hujan ini digunakan untuk curah hujan jangka pendek. Parameter ini digunakan untuk menghitung intensitas curah hujan setiap waktu berdasarkan data curah hujan harian:

$$I = \sqrt{\frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3}} \quad 2.26$$

Dimana:

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

$R_{24}$  = Hujan maksimum harian (mm)

T = Lama terjadinya hujan (jam)

## 2.3 Debit Banjir Rencana

Debit rencana dihitung dengan menggunakan rumus rasional. Data yang diperlukan antara lain luas DTA (*Cathment Area* masing-masing saluran), intensitas hujan selama waktu konsentrasi dan nilai koefisien limpasan. Intensitas

hujan dihitung menggunakan rumus Mononobe. Debit kapasitas dihitung menggunakan rumus Manning dengan data masukan yaitu data dimensi saluran. Data-data yang dibutuhkan diantaranya data karakteristik sungai, data hujan, data debit sungai, data hidrograf banjir dan data morfologi sungai. Metode yang digunakan dalam menghitung debit banjir sangat bergantung pada ketersediaan data (Nurhamidin et al., 2015).

Perhitungan debit puncak untuk drainase di daerah perkotaan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus rasional atau hidrograf satuan. Perhitungan debit rencana berdasar periode ulang hujan tahunan, 2 tahunan, 5 tahunan dan 10 tahunan, dan 25 tahunan. Data yang diperlukan meliputi data batas dan pembagian daerah tangkapan air, tata guna lahan dan data hujan. Standar yang telah ditetapkan baik debit rencana dan cara analisis yang dipakai, tinggi jagaan, struktur saluran dll dapat dipakai dalam perencanaan saluran drainase (Dinisari, 2009). Standar desain untuk saluran drainase disajikan pada Tabel 2.12 (Suripin, 2004).

Besarnya debit rancangan drainase perkotaan umumnya dihitung dengan metode rasional. Hal ini karena daerah aliran tidak terlalu luas, kehilangan air sedikit dan waktu genangan relatif pendek. Metode rasional ini sangat mudah digunakan namun terbatas pada DTA dengan ukuran kecil tidak lebih dari 500 ha (Juliyanti, 2020).

$$Q_p = 0,002778 \cdot C \cdot I \cdot A \quad 2.27$$

Dimana:

$Q_p$  = Debit puncak ( $m^3/detik$ )

$C$  = Koefisien aliran permukaan ( $0 \leq C \leq 1$ )

$I$  = Intensitas hujan (mm/jam)

$A$  = Luas DAS (ha)

### 2.3.1 Koefisien Limpasan (*Runoff*)

Koefisien limpasan (*runoff*) pada drainase perkotaan dipengaruhi oleh daerah kedap air yang dirumuskan pada persamaan berikut.

$$C = 0,9I_m + (1 - I_m)C_p \quad 2.28$$

$$I_m = \frac{A_{kedap\ air}}{A_{total}} \quad 2.29$$

Dimana:

$C_p$  = Koefisien limpasan untuk daerah tidak kedap air;

$I_m$  = Rasio kedap air

Tabel nilai koefisien limpasan dan rasio kedap air disajikan pada Tabel 2.11 (Sumber: Badan Standarisasi Nasional, SCI 2415-2015).

Tabel 2.12 Koefisien Runoff dan Presentase Kedap Air Tata Guna Lahan

Tata Guna Lahan	Karakteristik	C	$I_m$ (%)	Keterangan
Pusat perbelanjaan dan perkantoran		0,90	100	Berkurang untuk bangunan tidak penuh
Pemukiman (kepadatan menengah-tinggi)	20 rmh/ha	0,48	30	Bandingkan daerah kedap air dengan daerah lain
	30 rmh/ha	0,55	40	
	40 rmh/ha	0,65	60	
	60 rmh/ha	0,75	75	
Pemukiman (kepadatan rendah)	10 rmh/ha	0,40	<20	CN = 85 ( <i>Curve Number</i> )
Taman	Daerah datar	0,30	0	
Pedesaan	Tanah berpasir	0	0	C=0,20; CN=60
	Tanah berat ( <i>heavy soil</i> )	0	0	C=0,35; CN=75
	Daerah irigasi	0	0	C=0,50; CN=85

Nilai C komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_k = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + \dots + C_nA_n}{A_{total}} \quad 2.30$$

Tata guna lahan dan kondisi permukaan lahan juga bisa menjadi perkiraan dalam menentukan nilai koefisien limpasan. Tabel nilai koefisien limpasan tata guna lahan disajikan pada Tabel 2.12 (Badan Standarisasi Nasional, SCI 2415-2015) dan nilai koefisien limpasan berdasarkan kondisi permukaan disajikan pada Tabel 2.13.

Tabel 2.13 Nilai Koefisien Limpasan Tata Guna Lahan

Karakteristik tanah	Tata Guna Lahan	Koefisien Limpasan I
Campuran pasir dan/atau campuran kerikil	Pertanian	0,20
	Padang rumput	0,15
	Hutan	0,10

Karakteristik tanah	Tata Guna Lahan	Koefisien Limpasan I
Geluh dan sejenisnya	Pertanian	0,40
	Padang rumput	0,35
	Hutan	0,30
Lempung dan sejenisnya	Pertanian	0,50
	Padang rumput	0,45
	Hutan	0,40

Tabel 2.14 Nilai Koefisien Limpasan Berdasarkan Kondisi Permukaan

Jenis Daerah	Koef Aliran	Kondisi Permukaan	Koef Aliran
Daerah Perdagangan Kota Sekitar kita	0,70-0,95	Jalan Aspal	0,75-0,95
		Aspal dan beton	
		Batu bata dan batako	
Daerah Permukiman Satu Rumah Banyak rumah, terpisah Banyak rumah, rapat Permukiman, pinggiran kota	0,30-0,50	Atap Rumah	0,70-0,95
		Halaman berumput, tanah pasir	
		Datar, 2%	
		Rata-rata, 2-7%	
		Curam, 7% atau lebih	
Apartemen	0,50-0,70		
Lahan tidak terpelihara	0,10-0,30		

### 2.3.2 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi hujan merupakan waktu yang dibutuhkan air hujan untuk mengalir dari titik paling jauh daerah aliran sungai (DAS) sampai ke titik *outlet* DAS. Waktu konsentrasi dibagi atas 2 bagian:

- Inlet time* ( $t_o$ ) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di atas permukaan tanah menuju saluran drainase.
- Conduit time* ( $t_d$ ) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di sepanjang saluran sampai titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir. Sehingga waktu konsentrasi dapat dihitung dengan rumus berikut (Suripin, 2004). Rumus waktu konsentrasi yang digunakan, sebagai berikut:

$$t_c = t_o + t_d \quad 2.31$$

Dengan parameter yang digunakan:

$$t_o = \left( \frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{s}} \right) \quad 2.32$$

$$t_d = \frac{Ls}{60v} \quad 2.33$$

Keterangan:

$S$  = Kemiringan saluran

$L$  = Panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m)

$L_s$  = Panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m)

$v$  = Kecepatan rata-rata di dalam saluran (m/det)

$n$  = Angka kekasaran manning

Kecepatan rata-rata dapat dipertimbangkan dari nilai kemiringan rata-rata, seperti yang disajikan pada Tabel 2.14 (Hasmar, 2011).

Tabel 2.15 Nilai Kemiringan Rata-rata terhadap Kecepatan Rata-rata

Kemiringan Rata-rata (%)	Kecepatan Rata-rata (m/det)
< 1	0,4
1 sampai < 2	0,6
2 sampai < 4	0,9
4 sampai < 6	1,2
6 sampai < 10	1,5
10 sampai < 15	2,4

### 2.3.3 Intensitas Hujan

Laju infiltrasi sangat bergantung pada pengaruh intensitas hujan terhadap limpasan permukaan. Apabila intensitas hujan lebih tinggi dari laju infiltrasi, maka limpasan permukaan akan sejalan dengan meningkatnya intensitas curah hujan. Tapi, peningkatan limpasan permukaan tidak selalu sebanding dengan meningkatnya intensitas hujan yang disebabkan genangan air di permukaan tanah. Intensitas hujan memiliki pengaruh terhadap debit maupun volume limpasan (Suripin, 2004).

### 2.3.4 Luas Daerah Pengaliran

Luas daerah pengaliran merupakan aliran yang jatuh dalam suatu daerah tangkapan air yang luas daerah alirannya dihitung berdasarkan *catchment area* yang masuk menjadi beban pada saluran drainase (Lindawati et al., 2021).

## 2.4 Sistem Informasi Geografis (SIG)

### 2.4.1 Definisi Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu sistem informasi berbasis komputer untuk menyimpan, mengelola dan menganalisis, serta memanggil data bereferensi geografis yang berkembang pesat pada lima tahun terakhir ini. Manfaat dari SIG adalah memberikan kemudahan kepada para pengguna atau para pengambil keputusan untuk menentukan kebijaksanaan yang



akan diambil, khususnya yang berkaitan dengan aspek keruangan (*spacial*). Dengan adanya teknologi ini maka akan memudahkan dalam hal pemetaan. Dalam pengaplikasian *Geographic Information Sistem* (GIS) menggunakan perangkat lunak *Arcview* yang merupakan salah satu perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) yang terkemuka (Lestari et al., 2016).

Secara umum pengertian SIG adalah Suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, sumberdaya manusia dan data yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis. SIG mempunyai kemampuan untuk menghubungkan berbagai data pada suatu titik tertentu di bumi, menggabungkannya, menganalisa dan akhirnya memetakan hasilnya. Data yang akan diolah pada SIG merupakan data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis dan merupakan lokasi yang memiliki sistem koordinat tertentu, sebagai dasar referensinya. Sehingga aplikasi SIG dapat menjawab beberapa pertanyaan seperti; lokasi, kondisi, trend, pola dan pemodelan. Kemampuan inilah yang membedakan SIG dari sistem informasi lainnya (Rosdiana et al., 2015).

#### **2.4.2 Subsistem Sistem Informasi Geografis (SIG)**

Menurut (Koko Mukti Wibowo, Indra Kanedi, 2015) Subsistem yang dimiliki oleh SIG yaitu data input, data output, data management, data manipulasi dan analisis. Subsistem SIG tersebut dijelaskan dibawah ini:

1. **Data Input:** Subsistem ini bertugas untuk mengumpulkan dan mempersiapkan data spasial dan data atribut dari berbagai sumber. Subsistem ini pula yang bertanggung jawab dalam mengkonversi atau mentransformasi format data data aslinya ke dalam format yang digunakan oleh SIG.
2. **Data Output:** Subsistem ini menampilkan atau menghasilkan keluaran seluruh atau sebagian basis data baik dalam bentuk softcopy maupun bentuk hardcopy seperti: tabel, grafik, peta dan lain-lain.
3. **Data Management:** Subsistem ini mengorganisasikan baik data spasial maupun atribut ke dalam sebuah basis data seDEMNASikian rupa sehingga mudah dipanggil, dan diedit.

4. Data manipulasi dan analisis: Subsistem ini menentukan informasi-informasi yang dapat dihasilkan oleh SIG. Selain itu, subsistem ini juga melakukan manipulasi dan permodelan data untuk menghasilkan informasi yang

### 2.4.3 Komponen Sistem Informasi Geografis (SIG)

Menurut (Sagita, 2016) komponen Sistem Informasi Geografis (SIG) ini terbagi menjadi 5 bagian, yaitu sebagai berikut:

1. Perangkat keras (*hardware*), adalah perangkat-perangkat fisik yang merupakan bagian dari system komputer yang mendukung analisis goegrafi dan pemetaan. Perangkat keras SIG mempunyai kemampuan untuk menyajikan citra dengan resolusi dan kecepatan yang tinggi serta mendukung operasioperasi basis data dengan volume data yang besar secara cepat. Perangkat keras SIG terdiri dari beberapa bagian untuk menginput data, mengolah data, dan mencetak hasil proses.
2. Perangkat lunak (*software*) Digunakan untuk melakukan proses menyimpan, menganalisa, memvisualkan data-data baik data spasial maupun non-spasial. Perangkat lunak yang harus terdapat dalam komponen software SIG adalah alat untuk memasukkan dan memanipulasi data SIG, *Data Base Management System* (DBMS), Alat untuk menganalisa data-data, Alat untuk menampilkan data dan hasil Analisa.
3. Data pada prinsipnya terdapat dua jenis data untuk mendukung SIG yaitu Data Spasial adalah gambaran nyata suatu wilayah yang terdapat di permukaan bumi. Umumnya direpresentasikan berupa grafik, peta, gambar dengan format digital dan disimpan dalam bentuk koordinat x,y (vektor) atau dalam bentuk *image* (raster) yang memiliki nilai tertentu. Sedangkan, Data Non Spasial (atribut) adalah data berbentuk tabel dimana tabel tersebut berisi informasi- informasi yang dimiliki oleh obyek dalam data spasial. Data tersebut berbentuk data tabular yang saling terintegrasi dengan data spasial yang ada.
4. Manusia merupakan inti elemen dari SIG karena manusia adalah perencana dan pengguna dari SIG. Pengguna SIG mempunyai tingkatan seperti pada sistem informasi lainnya, dari tingkat spesialis teknis yang mendesain dan

mengelola sistem sampai pada pengguna yang menggunakan SIG untuk membantu pekerjaannya sehari-hari.

5. Metode yang digunakan dalam SIG akan berbeda untuk setiap permasalahan. SIG yang baik tergantung pada aspek desain dan aspek realnya.



Gambar 2.2Komponen Sistem Informasi Geografis (SIG)

## 2.5 Analytical Hierarchy Process (AHP)

### 2.5.1 Definisi Analytical Hierarchy Process (AHP)

Menurut (Munthafa & Mubarak, 2017) *Analytical Hierarchy Process* (AHP) merupakan merupakan suatu metode pendukung keputusan yang dikembangkan oleh Thomas L. Saaty. Model pendukung keputusan ini akan menguraikan masalah multi faktor atau multi kriteria yang kompleks menjadi suatu hierarki. Hierarki didefinisikan sebagai suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam suatu struktur multilevel dimana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level faktor, kriteria, sub kriteria, dan seterusnya hingga level terakhir dari alternatif.

*Analytical Hierarchy Process* (AHP) digunakan sebagai metode pemecahan masalah dibanding dengan metode yang lain karena alasan-alasan berikut:

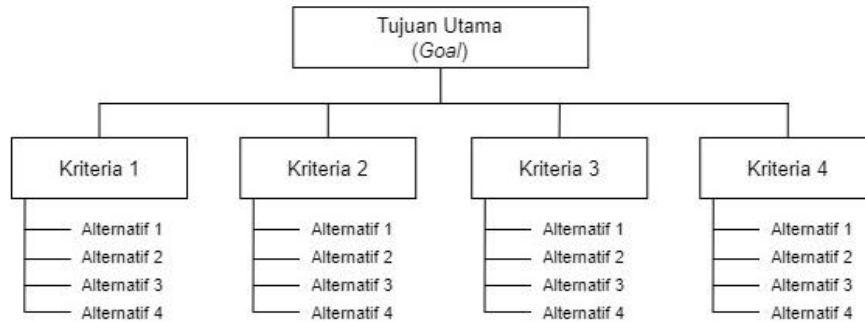
1. Struktur yang berhierarki, sebagai konsekuensi dari kriteria yang dipilih sampai pada sub kriteria yang paling dalam.
2. Memperhitungkan validitas sampai dengan batas toleransi inkonsistensi sebagai kriteria dan alternatif yang dipilih oleh pengambil keputusan.

Memperhitungkan daya tahan output analisis sensitivitas pengambilan keputusan.

### 2.5.2 Tahapan *Analytical Hierarchy Process* (AHP)

Menurut (Munthafa & Mubarak, 2017), langkah-langkah yang dilakukan dalam metode AHP sebagai berikut:

1. Mendefinisikan masalah dan menentukan solusi yang diinginkan.
2. Membuat struktur hierarki yang diawali dengan tujuan utama.



Gambar 2.3 Struktur Hierarki AHP

3. Membuat matrik perbandingan berpasangan yang menggambarkan kontribusi relatif atau pengaruh setiap elemen terhadap tujuan atau kriteria yang setingkat di atasnya.

Tabel 2.16 Matriks Perbandingan Berpasangan

	<b>Kriteria-1</b>	<b>Kriteria-2</b>	<b>Kriteria-1</b>	<b>Kriteria-n</b>
<b>Kriteria-1</b>	K11	K12	K13	K1n
<b>Kriteria-2</b>	K21	K22	K23	K2n
<b>Kriteria-3</b>	K31	K32	K33	K3n
...	...	...	...	...
<b>Kriteria-m</b>	Kn1	Kn2	Kn3	Kmn

4. Mendefinisikan perbandingan berpasangan sehingga diperoleh jumlah penilai seluruhnya sebanyak  $n \times [(n-1)/2]$  buah, dengan  $n$  adalah banyaknya elemen yang dibandingkan.

Tabel 2.17 Skala Perbandingan Tingkat Kepentingan

No	Tingkat Kepentingan	Definisi	Keterangan
1	1	Kedua faktor sama penting	Dua faktor mempunyai pengaruh sama besar

No	Tingkat Kepentingan	Definisi	Keterangan
2	3	Faktor yang satu sedikit lebih penting daripada yang lainnya	Pengalaman dan penilaian sedikit menyokong satu factor
3	5	Faktor yang satu lebih penting dari faktor yang lain	Pengalaman dan penilaian dengan kuat menyokong satu faktor disbanding elemen lainnya
4	7	Satu faktor jelas lebih penting dari faktor lainnya	Satu faktor yang kuat disokong dan dominan terlibat dalam kenyataan
5	9	Satu faktor mutlak lebih penting dari faktor lainnya	Bukti yang mendukung faktor yang satu terhadap faktor lain memiliki tingkat penegasan tertinggi yang menguatkan
6	2,4,6,8	Nilai-nilai di antara dua pertimbangan yang berdekatan	Nilai ini diberikan bila ada dua komponen di antara dua pilihan

5. Menghitung nilai eigen dan menguji konsistensinya. Jika tidak konsisten maka pengambilan data diulangi.
6. Mengulangi langkah 3,4, dan 5 untuk seluruh tingkat hierarki.
7. Menghitung vektor eigen dari setiap matriks perbandingan berpasangan yang merupakan bobot setiap elemen untuk penentuan prioritas elemen-elemen pada tingkat hierarki terendah sampai mencapai tujuan.

Penghitungan dilakukan lewat cara menjumlahkan nilai setiap kolom yang bersangkutan untuk memperoleh normalisasi matriks, dan menjumlahkan nilai-nilai dari setiap baris dan membaginya dengan jumlah elemen untuk mendapatkan rata-rata.

Apabila  $A$  adalah matriks perbandingan berpasangan, maka vektor bobot yang berbentuk

$$(A)(w^T) = (n)(w^T) \quad 2.34$$

Dimana:

$A$  = Matriks perbandingan

$n$  = Jumlah kriteria

$W$  = Vektor bobot

Dapat didekati dengan cara:

a. Menormalkan setiap kolom  $j$  dalam matriks  $A$ , sehingga hingga:

$$\sum_i a(i, j) \cdot i = 1 \quad 2.35$$

Dimana:

$\sum_i a(i, j)$  = Normalisasi baris

$i$  = Baris pada matriks

$j$  = Kolom pada matriks

disebut sebagai  $A'$ .

b. Hitung nilai rata-rata untuk setiap baris  $i$  dalam  $A'$ :

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_i a(i, j) \quad 2.36$$

Dimana:

$w_i$  = Rata-rata baris  $i$

$\sum_i a(i, j)$  = Normalisasi baris

$n$  = Jumlah kriteria

$I$  = Baris pada matriks

$j$  = Kolom pada matriks

dengan  $w_i$  adalah bobot tujuan ke- $I$  dari vektor bobot.

8. Memeriksa konsistensi hirarki, misal  $A$  adalah matriks perbandingan berpasangan dan  $w$  adalah vektor bobot, maka konsistensi dari vektor bobot  $w$  dapat diuji sebagai berikut:

a. Hitung:  $(A)(w^T)$

$$\lambda_{maks} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\text{elemen ke-} i \text{ pada } (A)(w^T)}{\text{elemen ke-} i \text{ pada } w^T} \right) \quad 2.37$$

Dimana:

$\lambda_{maks}$  = Nilai eigen maksimum

$n$  = Jumlah kriteria

$I$  = Baris pada matriks

$J$  = Kolom pada matriks

$A$  = Matriks perbandingan

$w$  = Vektor bobot

b. Hitung indeks konsistensi:

$$CI = \frac{\lambda_{maks} - n}{n - 1} \quad 2.38$$

Dimana:

$CI$  = Indeks konsistensi

$\lambda_{maks}$  = Nilai eigen maksimum

$n$  = Jumlah kriteria

c. Indeks random RI adalah nilai rata-rata CI yang dipilih secara acak pada A dan diberikan sebagai:

Tabel 2.18 Indeks Random

<b>N</b>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>RI</b>	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48

d. Hitung rasio konsistensi

$$CR = \frac{CI}{RI_n} \quad 2.39$$

Dimana:

$CR$  = Rasio konsistensi

$n$  = Banyaknya kriteria atau subkriteria

$CI$  = Indeks konsisten

$RI$  = Nilai Random Index

Maka,

- Jika  $CI = 0$ , maka hierarki konsisten

- Jika  $CR < 0,1$ , maka hierarki cukup konsisten
- Jika  $CR > 0,1$ , maka hierarki sangat tidak konsisten

### **2.5.3 Kelebihan dan Kekurangan Analytical Hierarchy Process (AHP)**

Menurut (Munthafa & Mubarak, 2017) Layaknya sebuah metode analisis, AHP pun memiliki kelebihan dan kelemahan dalam sistem analisisnya. Berikut penjelasannya:

#### **2.5.3.1 Kelebihan Analytical Hierarchy Process (AHP)**

1. Kesatuan (*Unity*), membuat permasalahan yang luas dan tidak terstruktur menjadi suatu model yang fleksibel dan mudah dipahami.
2. Kompleksitas (*Complexity*), memecahkan permasalahan yang kompleks melalui pendekatan sistem dan pengintegrasian secara deduktif.
3. Saling Ketergantungan (*Interdependence*), dapat digunakan pada elemen-elemen sistem yang saling bebas dan tidak memerlukan hubungan linier.
4. Struktur Hirarki (*Hierarchy Structuring*), mewakili pemikiran alamiah yang cenderung mengelompokkan elemen sistem ke level-level yang berbeda dari masing-masing level berisi elemen serupa.
5. Pengukuran (*Measurement*), menyediakan skala pengukuran dan metode untuk mendapatkan prioritas.
6. Sintesis (*Synthesis*), AHP mengarah pada perkiraan keseluruhan mengenai seberapa diinginkannya masing-masing alternatif.
7. *Trade Off*, mempertimbangkan prioritas relatif faktor-faktor pada sistem sehingga orang mampu memilih alternatif terbaik berdasarkan tujuan mereka.
8. Penilaian dan Konsensus (*Judgement and Consensus*), tidak mengharuskan adanya suatu consensus, tapi menggabungkan hasil penilaian yang berbeda.
9. Pengulangan Proses (*Process Repetition*), mampu membuat orang menyaring definisi dari suatu permasalahan dan mengembangkan penilaian serta pengertian mereka melalui proses pengulangan.

#### **2.5.3.2 Kekurangan Analytical Hierarchy Process (AHP)**

1. Ketergantungan model AHP pada input utamanya. Input utama ini berupa persepsi seorang ahli sehingga dalam hal ini melibatkan subyektifitas sang ahli. Selain itu, model menjadi tidak berarti jika ahli tersebut memberikan penilaian yang keliru.



2. Metode AHP ini hanya metode matematis tanpa ada pengujian secara statistik sehingga tidak ada batas kepercayaan dari kebenaran model yang terbentuk.

## 2.6 Spatial Multi Criteria Analysis (SMCA)

*Spatial Multi Criteria Analysis* (SMCA) masih saling berkaitan dengan metode AHP yang digunakan pada penelitian ini. Namun pada penelitian ini SMCA digunakan untuk menentukan model berdasarkan parameter spasial. Dimana setelah menanalisis menggunakan metode ahp terdapat hasil nilai tiap parameter, kemudian akan di analisis atau di overlay menggunakan *software* ArcGIS pada tahap ini bisa disebut dengan SMCA.

## 2.7 Validasi

Penilaian validasi dan akurasi hasil analisis multi kriteria, pada model pendekatan analisis khususnya AHP merupakan salah satu bagian yang penting. Menerapkan *Area Under Curve* (AUC) berdasarkan data kejadian banjir di lapangan dan catatan sejarah merupakan alat yang baik untuk memvalidasi model AHP karena sifatnya yang sederhana, lengkap, dan efisien. Nilai 1 untuk AUC menunjukkan nilai akurasi maksimum tanpa efek bias, padahal pada umumnya nilai AUC lebih dari 0,5 dianggap sebagai model yang sangat akurat dan dapat diterima.

Penelitian ini membagi peta kerentanan banjir dengan metode AHP menjadi lima kelas. Titik-titik inventarisasi banjir hasil observasi dan wawancara dipetakan dalam berbentuk sumbu X dan Y, serta identifikasi jumlah kejadian banjir tiap kelas dibandingkan dengan peta keluaran rawan banjir. Persentase total kejadian banjir dan persentase piksel untuk setiap kelas ditentukan berdasarkan data tersebut. Berdasarkan data tersebut area di bawah kurva diidentifikasi secara numerik oleh:

$$AUC = \sum_{f=1}^{n=100} \frac{(x_1 + x_2)}{2(y_2 + y_1)} \quad 2.40$$

Dimana:

*AUC* = *Area Under Curve*

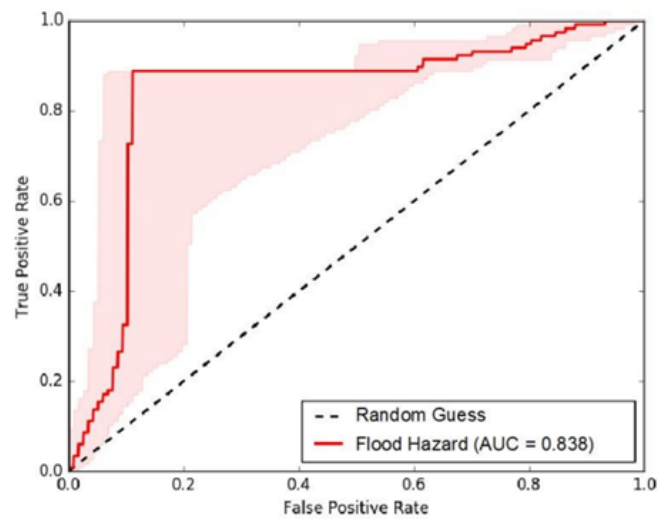
x = Persentase kumulatif wilayah (kerentanan tinggi hingga rendah)

Y = Persentase kumulatif kejadian banjir

N = Jumlah kelas banjir

(1,2) = Dua titik data yang berurutan

Hasil pemodelan kerentanan banjir dapat tervalidasi keakuratannya secara kuantitatif menggunakan kurva *Receiver Operating Characteristic* (ROC) untuk membandingkan keakuratan peta kerentanan dengan data lokasi kejadian banjir di lapangan, tingkat prediksi menunjukkan kemampuan prediksi model pada area tertentu sebesar mengukur luas area di bawah kurva tingkat prediksi yang disebut *Area Under Curve* (AUC). Berikut adalah contoh kurva hasil validasi (Mujib et al., 2021).



Gambar 2.4 *Area Under Curve* (AUC) untuk Peta Kerawanan Banjir